

# Verfahren zur Herstellung einer Hartstoffschicht

Publication number: DE4343354

Publication date: 1995-06-22

Inventor: LADEWIG KLAUS (DE); KOHLHOF KARL DR (DE)

Applicant: BOSCH GMBH ROBERT (DE)

Classification:

- international: C23C14/00; C23C14/06; C23C14/22; C23C14/00;  
C23C14/06; C23C14/22; (IPC1-7): C23C28/00;  
C23C14/34; C23C16/30; C23C16/48

- European: C23C14/00F; C23C14/06; C23C14/06E; C23C14/06F;  
C23C14/06G; C23C14/06H; C23C14/22

Application number: DE19934343354 19931218

Priority number(s): DE19934343354 19931218

Also published as:



WO9516799 (A1)



EP0734460 (A1)



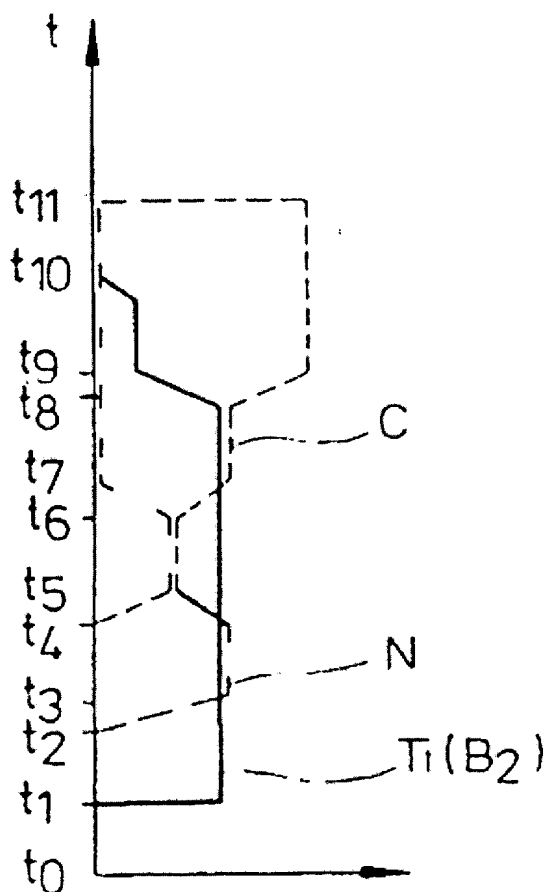
EP0734460 (A0)



EP0734460 (B1)

[Report a data error here](#)

Abstract not available for DE4343354



Data supplied from the [esp@cenet](mailto:esp@cenet) database - Worldwide



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 43 43 354 A 1**

⑤1 Int. Cl. 6:  
**C 23 C 28/00**  
C 23 C 14/34  
C 23 C 16/48  
C 23 C 16/30

⑳ Aktenzeichen: P 43 43 354.5  
㉔ Anmeldetag: 18. 12. 83  
㉕ Offenlegungstag: 22. 6. 85

DE 43 43 354 A 1

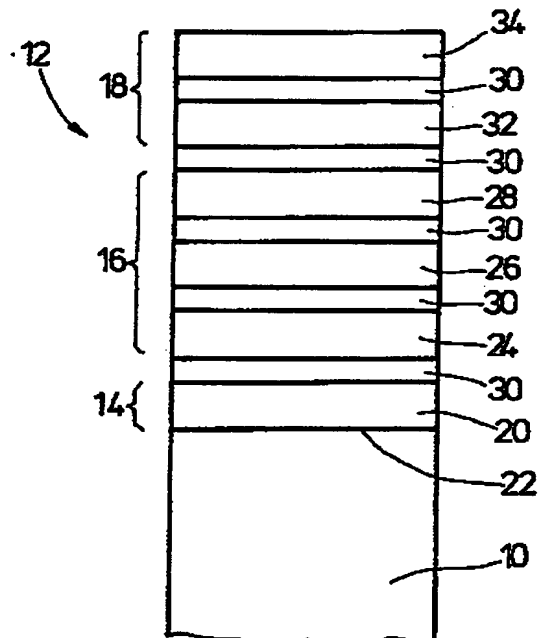
㉑ Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

㉒ Erfinder:  
Ladewig, Klaus, 71272 Renningen, DE; Kohlhof, Karl,  
Dr., 70597 Stuttgart, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren zur Herstellung einer Hartstoffschicht

⑤7 Die Erfindung betrifft ein Niedertemperaturverfahren zur Herstellung einer Hartstoffschicht auf einem Bauteil, die einen umfassenden Schutz gegen unterschiedliche und kombinierte Verschleißarten bildet.  
Dazu ist vorgesehen, daß die Hartstoffschicht, bestehend aus einer Haftschrift, einer verschleißbeständigen harten Funktionsschicht und einer reibmindernden Oberflächenschicht, durch ein kombiniertes PVD- und CVD-Beschichtungsverfahren und eine gleichzeitige energetische Ionenbehandlung erzeugt wird.



DE 43 43 354 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 04. 95 508 025/396

10/32

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer Hartstoffschicht nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

## Stand der Technik

Es ist bekannt, daß bei in verschiedenen technischen Gebieten eingesetzten Bauteilen unterschiedliche, oft kombinierte Verschleißarten auftreten können. Damit die Bauteile gegen einen übermäßigen Verschleiß geschützt sind, werden diese in zunehmendem Maße mit einer Schutzschicht versehen. An diese Schutzschicht werden besondere Anforderungen gestellt. So ist beispielsweise eine gute Adhäsion zum Bauteil, eine gute Kohäsion innerhalb des Schichtverbundes sowie eine geringe Adhäsion zum Gegenkörper notwendig. Weiterhin müssen die Schutzschichten geringe innere Druckspannungen, eine hohe Härte und Tragfähigkeit, einen geringen Reibkoeffizienten und eine Oberflächen-glattheit und Porenfreiheit aufweisen. Darüber hinaus ist bei bestimmten Anwendungen der Bauteile eine hohe Affinität der Schutzschicht zu Schmiermitteln zu gewährleisten.

Derartige Schutzschichten werden beispielsweise in Vakuumkammern aufgebracht, in denen ein Partikel-dampf erzeugt wird. In PVD (physical vapour deposition)-Verfahren wird dazu in der Regel die Sputter-Technologie angewendet, bei der ein als Kathode geschaltetes sogenanntes Target unter Bombardement positiver Ionen zerstäubt wird. In CVD (chemical vapour deposition)-Verfahren wird die abzuscheidende Komponente als gasförmige Verbindung in die Vakuumkammer eingeleitet. Es ist bekannt, als Schutzschichten sogenannte Hartstoffschichten in reaktiven Aufdampfprozessen abzuscheiden, die eine Kombination von PVD- und CVD-Verfahren darstellen. Die metallische Komponente wird durch Zerstäuben, die metalloiden Komponenten dagegen gasförmig eingebracht. Ein solches Partikeldampfgemisch wird in plasmaunterstützten Aufdampfverfahren teilweise ionisiert. Durch elektrische Felder werden aus den Plasmavolumina Ionen auf das Beschichtungsgut beschleunigt. Dadurch kommt es zu dem bekannten Ionenplattiereffekt, der ursächlich für gesteigerte Schichteigenschaften ist.

Aus dem Werkzeugbau ist beispielsweise bekannt, mit Hilfe solcher plasmagestützten Abscheidungsprozesse dünne Hartstoffschichten auf die Werkzeuge zu dampfen, die somit eine Verschleißschutzbeschichtung ergeben. Dabei werden im wesentlichen Titanitride (TiN), Titankarbide (TiC) und Titanboride (TiB<sub>2</sub>) bzw. daraus abgeleitete mehrkomponentige Legierungen oder Vielfachschichtsysteme eingesetzt. Wegen ihrer hohen Härte können diese Schichten einer schlagenden Beanspruchung und einem Kavitations- sowie Abrasionsverschleiß widerstehen. Sie besitzen aber wegen des relativ hohen Reibkoeffizienten schlechte Gleiteigenschaften und sind zudem meist korrosionsanfällig. Bei der Herstellung dieser Verschleißschutzbeschichtung in Vakuumprozessen werden darüber hinaus in der Regel Temperaturen von ca. 300 bis 500°C benötigt, die für einige Bauteilwerkstoffe zu hoch liegen. Damit ist nachteilig, daß die mit einem etablierten Verfahren aufgebrachte Schutzschicht nur für begrenzte Anwendungen in Frage kommt.

Weiterhin ist als Bauteilschutz das Aufbringen von Kohlenstoffschichten bekannt, die wegen ihres geringen

Reibkoeffizienten für Gleitpaarungen besonders geeignet sind. Weiterhin ergibt sich wegen des Kohlenstoffgehaltes eine hohe chemische Affinität zu Schmiermitteln, so daß ein Schmierfilmauflage unter Hochlast vermieden werden kann. Bei den Kohlenstoffschichten ist jedoch nachteilig, daß metallhaltige Kohlenstoffschichten eine gute Haftung zu metallischen Bauteilen zeigen, dafür aber keine nennenswerte Härte aufweisen und metallfreie Kohlenstoffschichten je nach Wasserstoffgehalt von polymerweich bis diamanthart hergestellt werden können, diese jedoch eine relativ schlechte Haftung zu metallischen Bauteilen aufweisen. Somit sind mit den Kohlenstoffschichten versehene Bauteile wiederum nur für begrenzte Anwendungsfälle einsetzbar.

## Vorteile der Erfindung

Das Verfahren zur Herstellung einer Hartstoffschicht mit den im Anspruch 1 genannten Merkmalen hat demgegenüber den Vorteil, daß eine Verschleißschutzbeschichtung zur Verfügung gestellt werden kann, die vielseitig einsetzbar ist und den oben genannten unterschiedlichsten, gegebenenfalls kombinierten Verschleißarten eine hohe Widerstandskraft entgegensetzt. Dadurch, daß gleichzeitig während der Abscheidung der Hartstoffschicht eine energetische Ionenbehandlung erfolgt, ist es sehr vorteilhaft möglich, selbst preiswerte und nicht temperaturbeständige Bauteilwerkstoffe mit einer universell verwendbaren Verschleißschutzbeschichtung zu versehen. Durch diese Kombination einer Schichtabscheidung mit einer energetischen Ionenbehandlung lassen sich auftretende Haftungs- oder Schichtbildungsprobleme zuverlässig lösen.

In vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß die Schichtabscheidung mit veränderlichen Parametern, insbesondere der Abscheidendauer und der Prozeßgaszusammensetzung, durchgeführt wird und die energetische Ionenbehandlung zwischen einer niederenergetischen Ionenbestrahlung und einer hochenergetischen Ionenbestrahlung (Ionenimplantation) variiert wird. Durch die sich hieraus ergebende Vielzahl von Variationsmöglichkeiten, die gezielt auf das Bauteil und/oder auf das Beschichtungsmaterial abgestimmt sein können, ist es vorteilhaft möglich, die Eigenschaften der Hartstoffschicht auf den jeweiligen Anwendungsfall für das Bauteil optimal abzustimmen. Die kontinuierliche Parametervariation während der Herstellung der Hartstoffschicht garantiert einen inneren Zusammenhalt im Schichtverbund und ist beispielsweise einer Vielschichtanordnung überlegen. Durch Variation der Schichtzusammensetzung wie durch gezielte niederenergetische Ionenbestrahlung während der Beschichtung kann die gewünschte Härte, Struktur und Dichte der Schicht bei geringen inneren Spannungen eingestellt werden. Durch eine gleichzeitige oder ergänzende hochenergetische Ionenimplantation wird einerseits eine gute Schichthaftung zu dem zu beschichtenden Bauteil, selbst wenn dieses einen unterschiedlichen Bindungstyp aufweist, garantiert und andererseits eine gewünschte Struktur- und Dichteänderung erreicht. So kann beispielsweise bei Kohlenstoffschichten der diamantähnliche Charakter eingestellt werden.

Das Spannungs-, Haftungs-, Härte- und somit auch das tribologische Verhalten des gesamten Schichtverbundes läßt sich sehr vorteilhaft durch Variation der Abscheidendauer für die einzelnen Teilschichten bzw. der zeitlichen Länge der graduellen Übergänge den Umständen anpassen. Bei mit dem erfindungsgemäßen Ver-

fahren beschichteten Bauteilen ist es vorteilhaft möglich, diese bei solchen Anwendungen einzusetzen, bei denen ein oft gekoppelter Gleit- und Ermüdungsver-  
schleiß an tribologisch hoch belasteten Bauteilen wirk-  
sam bekämpft werden soll.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den übrigen in den Unteransprüchen genannten Merkmalen.

### Zeichnung

Die Erfindung wird nachfolgend in einem Ausführungsbeispiel anhand der zugehörigen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 schematisch eine Schnittdarstellung eines mit einer erfindungsgemäßen Hartstoffschicht beschichteten Bauteils;

Fig. 2 ein Zeitdiagramm der Partikelflüsse während der Schichtabscheidung und

Fig. 3 ein Zeitdiagramm einer parallel verlaufenden Ionenbehandlung.

### Beschreibung des Ausführungsbeispiels

In der Fig. 1 ist ein Bauteil 10 gezeigt, das beispielsweise in mechanischen Steuer- und Regelbaugruppen, wie Einspritzanlagen, in der Kraftfahrzeugtechnik eingesetzt werden soll. Das Bauteil 10 unterliegt dabei sehr unterschiedlichen Verschleißarten. So soll das Bauteil 10 sowohl gegen eine schlagende Beanspruchung, beispielsweise bei einem Ventil Sitz, gegen eine Kavitationserosion, beispielsweise bei hohen Flüssigkeitsdrücken, gegen Gleitbeanspruchung, beispielsweise in einem Lager, gegen schwingenden Ermüdungsverleiß, beispielsweise von Regelkomponenten, gegen Abrasion, beispielsweise hervorgerufen in Gegenwart harter Verunreinigungspartikel, sowie gegen einen korrosiven Angriff, beispielsweise in Wasser, Salzlösungen, Lösungsmitteln, Kraftstoffen mit und ohne Zusätzen, geschützt sein. Die hier genannten möglichen Verschleißarten sind lediglich beispielhaft und sollen die Vielseitigkeit, die an den Schutz eines Bauteils 10 gestellt werden, verdeutlichen.

Das Bauteil 10 ist mit einer Hartstoffschicht 12 versehen, die sich aus einer Haftschrift 14, einer Funktionsschicht 16 und einer Oberflächenschicht 18 zusammensetzt. Dieser gesamte Schichtverbund mit einer Gesamtschichtdicke von beispielsweise ca. 3 µm weist innerhalb der einzelnen Schichten 14, 16 und 18 verschiedene zusammengesetzte Bereiche auf. Die einzelnen Bereiche werden hier lediglich genannt und deren Erzeugung anhand der Fig. 2 und 3 näher erläutert. Die Haftschrift 14 besteht aus einem Bereich 20 auf Basis von Titan. Die Haftschrift 14 aus reinem Titan ist insbesondere geeignet, wenn das Bauteil 10 aus einem metallischen Substrat besteht, da Titan aufgrund seiner Oxydationsneigung in der Lage ist, die meist oxydischen Verunreinigungen auf einer Oberfläche 22 des Bauteils 10 einzubinden. Alternativ besteht die Haftschrift 14 aus Titanborid (TiB<sub>2</sub>), wenn als Verdampfungsmaterial anstelle des Titans Titanborid eingesetzt wird, das für extrem harte und chemisch inerte Schichtsysteme zu bevorzugen ist.

Die Funktionsschicht 16 weist die Bereiche 24, 26 und 28 auf. Diese Bereiche bestehen aus einer Hartstofflegierung von Titanitriden (TiN) mit Titankarbid (TiC) und/oder Titanboriden (TiB<sub>2</sub>). Im gezeigten Beispiel, wo Titan als Aufdampfmaterial eingesetzt wird, besteht der

Bereich 24 aus TiN, der Bereich 26 aus TiCN und der Bereich 28 aus TiC. Wird alternativ Titanborid als Verdampfungsmaterial eingesetzt, so besteht der Bereich 24 aus TiBN, der Bereich 26 aus TiBCN und der Bereich 28 aus TiBC. Durch die Kombination der Eigenschaften der vorgenannten binären Komponenten lassen sich die Gesamteigenschaften der Funktionsschicht 16 variieren. Beispielsweise läßt sich ein Kompromiß zwischen einer gesteigerten Schichthärte, einer reduzierten Sprödhheit und geringen inneren Spannungen einstellen. Die hier mit 30 gekennzeichneten Übergänge zwischen den Bereichen 24, 26 und 28 weisen Mischzusammensetzungen der Bereiche 24, 26 und 28 auf, so daß sich ein allmählicher Übergang von einer Hartstofflegierung in eine andere ergibt.

Die Oberflächenschicht 18 besteht hauptsächlich aus dem Bereich 32 und optional aus dem Bereich 34. Der Bereich 32 besteht aus einer metallhaltigen Kohlenstoffschicht (a-C:Ti) und der Bereich 34 aus einer metallfreien Kohlenstoffschicht (a-C:H).

Anhand der Fig. 2 und 3 soll das Herstellungsverfahren und der Strukturaufbau der in Fig. 1 gezeigten Hartstoffschicht 12 näher erläutert werden. Fig. 2 zeigt dabei den Ablauf der Dampfpartikelflüsse während der Abscheidung der Hartstoffschicht, im Beispiel der Titan-schicht bzw. der entsprechenden Titanlegierungen, über der Zeit und Fig. 3 den Ablauf der energetischen Ionenbehandlung über der Zeit. Zu einem Zeitpunkt t<sub>0</sub> wird das Bauteil 10 mit einer Ionenbestrahlung 36 beaufschlagt. Besonders durch das Bombardement mit schweren Ionen vor der Schichtabscheidung wird eine Bauteiloberflächen-Sputtervorreinigung durchgeführt. Im abgebildeten Beispiel findet diese Bestrahlung mit Ionen aus einer separaten Ionenquelle und mit einer Energie größer 10 keV statt. Ein Vorteil der Hochenergie-Sputtervorreinigung ist, daß elektrostatische Effekte durch Ecken und Kanten wegen der gerichteten Ionenbewegung keine Rolle spielen. Prinzipiell ist auch ein Niederenergie-Ionenätzen bei 1000 eV geeignet, bei dem Ionen aus dem Beschichtungsplasma durch Anlegen einer Spannung auf die Substrate gelenkt werden. Bei stark strukturierten Substratgeometrien treffen die Ionen jedoch den elektrischen Feldlinien folgend verstärkt auf Kanten und gelangen kaum in Vertiefungen. Daher ist diese Art der Niederenergie-Ionenbestrahlung nur bei glatten Oberflächenstrukturen effektiv.

Nach der hoch- oder niederenergetischen Sputtervorreinigung ermöglicht eine hochenergetische Ionenbestrahlung ein atomares Durchmischen der Bauteiloberfläche 22 mit der nachfolgend aufzubringenden ersten Schicht. Hierdurch wird eine Haftungssteigerung und ein homogenes Schichtwachstum bei einer Beschichtungstemperatur von ca. 200°C gewährleistet. Somit können mit dem erfindungsgemäßen Verfahren auch Bauteile 10 beschichtet werden, die einer höheren Beschichtungstemperatur nicht standhalten würden.

Zu einem Zeitpunkt t<sub>1</sub> wird die Abscheidung der Titan- bzw. der Titanborid (TiB<sub>2</sub>)-Schicht begonnen. Gleichzeitig beginnt ab dem Zeitpunkt t<sub>1</sub> eine niederenergetische Bestrahlung 38 mit Ionen aus dem vorhandenen Beschichtungsplasma. Diese wird mit einer Energie von beispielsweise 100 eV durchgeführt. Zu einem Zeitpunkt t<sub>2</sub> wird die Prozeßgaszusammensetzung während der Schichtabscheidung so verändert, daß nunmehr Stickstoff (N<sub>2</sub>) als Prozeßgas zugegeben wird. Der Stickstoffzusatz wird bis zum Zeitpunkt t<sub>3</sub> gesteigert und bleibt dann bis zu einem Zeitpunkt t<sub>4</sub> konstant. Von dem Zeitpunkt t<sub>4</sub> beginnend wird der Stickstoffeinsatz

reduziert und ab einem Zeitpunkt  $t_7$  auf einem Minimalwert gehalten. Für eine stickstofffreie Oberflächenschicht wird der Stickstoffzusatz zu dem Zeitpunkt  $t_7$  vollständig eingestellt. Zum Zeitpunkt  $t_4$  wird die Prozeßgaszusammensetzung so verändert, daß zusätzlich Kohlenstoff, beispielsweise in Form von Azetylen ( $C_2H_2$ ) als Prozeßgas eingeführt wird, dessen Anteil bis zu einem Zeitpunkt  $t_{11}$  stufenweise ansteigt und dann eingestellt wird. Durch diese Variation der Prozeßgaszusammensetzung wird erreicht, daß während einer bestimmten Zeitspanne lediglich Stickstoff als Prozeßgas zur Verfügung steht, während einer weiteren Zeitspanne ein Gemisch aus Kohlenstoff und Stickstoff in etwa gleichem Verhältnis zur Verfügung steht und während einer weiteren Zeitspanne hauptsächlich nur Kohlenstoff eventuell mit geringer Beimengung von Stickstoff zur Verfügung steht. Durch diese veränderten Prozeßplasmen wird erreicht, daß zunächst der Nitrid-Bereich 24 (Ti(B)N) als duktile Diffusionsbarriere für den Kohlenstoff entsteht, der in den Karbonitrid-Bereich 26 (Ti(B)C<sub>2</sub>N) mit der gewünschten Härte und dann in den Karbid-Bereich 28 (Ti(B)C) übergeht. Bei Verwendung von Titanborid als Aufdampfmateriale läßt sich der Boranteil in den einzelnen Bereichen 24, 26 und 28 der Schicht 16 nicht vollständig substituieren. Die optionale geringe Beimengung von Stickstoff zu den Karbid-schichten 28 hilft deren Sprödigkeit zu reduzieren. Gleichzeitig mit der Variation der Prozeßgaszusammensetzung wird die niederenergetische Ionenbestrahlung 38 weitergeführt, während die hochenergetische Ionenbestrahlung 36 zum Zeitpunkt  $t_4$  eingestellt wird. Die niederenergetische Ionenbestrahlung 38 bewirkt dabei während der Schichtabscheidung eine Strukturverdichtung der Funktionsschicht 16 bei geringen inneren Spannungen und gewährleistet die Einhaltung der Prozeßtemperatur von 200°C. Dadurch, daß die hochenergetische Ionenbestrahlung 36 erst zum Zeitpunkt  $t_4$  eingestellt wird, wird das atomare Durchmischen des Bauteils 10 mit der Haftschiicht 14 und dem ersten Bereich 24 der Funktionsschicht 16 begünstigt.

Beginnend mit dem Zeitpunkt  $t_8$  wird die Verdampfung des Titans bzw. des Titanborids (TiB<sub>2</sub>) stufenweise verringert und optional zum Zeitpunkt  $t_{10}$  eingestellt, falls eine metallfreie Kohlenstoffschiicht erwünscht ist. Gleichzeitig wird die Zufuhr des Prozeßgases Kohlenstoff (C) verstärkt. Damit wird zur Oberflächenschicht 18 hin die Schichtzusammensetzung, ausgehend von dem Karbid-Bereich 28 (TiC bzw. TiBC), so geändert, daß zunächst der metallhaltige Bereich 32 (a-C:Ti) und dann optional der metallfreie Bereich 34 (a-C:H) einer Kohlenstoffschiicht entsteht. Eine geringe Beimengung von Stickstoff zu den kohlenstoffreichen Schichten 32 und 34 hilft wiederum deren Sprödigkeit zu reduzieren.

Nach Beendigung der Schichtabscheidung zum Zeitpunkt  $t_{11}$  kann nochmals eine hochenergetische Ionenbestrahlung 36 bis zum Zeitpunkt  $t_{12}$  durchgeführt werden. Insbesondere durch die Implantation leichter Ionen wird der Wasserstoffgehalt der Oberflächenschicht 18 reduziert. Dadurch kann im nachhinein nochmals gezielt die Struktur und Dichte der Oberflächenschicht geändert werden, so daß sich der diamantähnliche Charakter einstellt. Dies bedeutet, daß eine porenfreie, chemisch resistente Abdeckung der harten Funktionsschiicht 16 erreicht wird, die einen ausgezeichneten Schutz gegen korrosive Medien, wie beispielsweise Kraftstoffe, gewährleistet.

Nach allem wird klar, daß durch die beschriebene Kombination der Gasphasenabscheidung mit der ener-

getischen Ionenbehandlung und der Variation der Prozeßparameter ein Schichtverbund geschaffen werden kann, der mit einer Haftschiicht 14 beginnt, die durch graduelle Parametervariation kontinuierlich in eine harte Funktionsschiicht 16 übergeht und schließlich mit einer reibmindernden Oberflächenschicht 18 abschließt. Insbesondere die diamantähnliche Oberflächenschicht 18 zeigt eine dichte Struktur und eignet sich aufgrund ihrer chemischen Resistenz gegen Säuren und Laugen hervorragend als Korrosionsschutzschicht. Somit weist die Hartstoffschiicht 12 insgesamt Eigenschaften auf, die eine Resistenz gegen die bereits erwähnten unterschiedlichen, oftmals kombinierten Verschleißarten bietet.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer Hartstoffschiicht auf einem Bauteil, dadurch gekennzeichnet, daß innerhalb der Hartstoffschiicht eine Haftschiicht (14), eine verschleißbeständige Funktionsschiicht (16) und eine reibmindernde Oberflächenschicht (18) durch ein kombiniertes Niedertemperatur-PVD- und CVD-Beschichtungsverfahren erzeugt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen den Schichten (14, 16, 18) fließende Übergänge (30) erzeugt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß als Verdampfungsmateriale Titan oder Titanborid eingesetzt wird, das während der Beschichtung mit einem Stickstoffgas, einem Kohlenstoffgas und/oder einem Gemisch aus Stickstoff- und Kohlenstoffgas reagiert.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Schichtabscheidung mit veränderlichen Parametern, insbesondere der Abscheidedauer und der Prozeßgaszusammensetzung, durchgeführt wird.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erzeugung der Haftschiicht (14) das Verdampfungsmateriale nicht in Gegenwart eines Reaktivgases abgeschieden wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erzeugung der verschleißbeständigen Funktionsschiicht (16) das Verdampfungsmateriale in etwa gleichem Maße wie die Reaktivgase abgeschieden wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß nur das Stickstoffgas zur Erzeugung eines duktilen Bereiches (24) der Funktionsschiicht (16) eingesetzt wird.
8. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß ein Gemisch aus etwa gleichen Anteilen von Stickstoff- und Kohlenstoffgas zur Erzeugung eines harten Bereiches (26) der Funktionsschiicht (16) eingesetzt wird.
9. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß hauptsächlich das Kohlenstoffgas, eventuell mit geringen Beimengungen von Stickstoffgas, zur Erzeugung eines Übergangsbereiches (28) der Funktions- (16) zur Oberflächenschicht (18) eingesetzt wird.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erzeugung der reibmindernden Oberflächenschicht (18) hauptsächlich das Kohlenstoffgas, eventuell mit geringen Beimengungen von Stickstoffgas, eingesetzt

wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß im Bereich (32) der Oberflächenschicht (18) ein geringer Metallanteil enthalten ist.

12. Verfahren nach Anspruch 10 und 11, dadurch gekennzeichnet, daß im Bereich (34) der Oberflächenschicht (18) kein Metallanteil enthalten ist. 5

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zur Einhaltung einer Beschichtungstemperatur von ca. 200°C wahlweise eine niederenergetische Ionenbestrahlung (38) mit Ionenenergien unterhalb 1 keV und/oder eine hochenergetische Ionenimplantation (36) mit Ionenenergien oberhalb 10 keV durchgeführt wird. 10 15

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß zur Vorreinigung der Bauteiloberfläche (22) vor der Schichtabscheidung eine Behandlung mit schweren Ionen eingesetzt wird.

15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, daß ein niederenergetischer Beschuß mit Ionen aus verstärkt ionisierten Plasmen von Beschichtungsquellen erfolgt, die jedoch nur mit geringster Leistung betrieben werden. 20

16. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, daß ein hochenergetischer Beschuß mit gerichteten Ionen aus einer separaten Ionenquelle erfolgt. 25

17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zur Steigerung der Schichthaftung zu Beginn der Schichtabscheidung während der Bereiche (20, 24) eine Implantation hochenergetischer Ionen aus einer separaten Ionenquelle durchgeführt wird. 30

18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zur Verdichtung der Schichtstruktur parallel zu der Schichtabscheidung während der Schichten (14, 16, 18) ein niederenergetischer Beschuß mit Ionen aus vorhandenen Beschichtungsplasmen erfolgt. 35 40

19. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zur Reduktion des Wasserstoffgehaltes der Oberflächenschichten nach Beendigung der Schichtabscheidung der Hartstoffschicht (12) ein Beschuß mit hochenergetischen leichten Ionen aus einer separaten Ionenquelle erfolgt. 45

20. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß sämtliche Beschichtungs- und Ionenbestrahlungsparameter kontinuierlich verändert werden. 50

21. Hartstoffschicht, dadurch gekennzeichnet, daß sie nach einem der Ansprüche 1 bis 20 hergestellt wird.

---

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

---

55

60

65

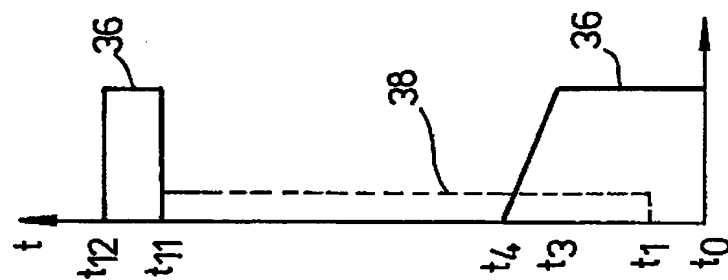


Fig. 3

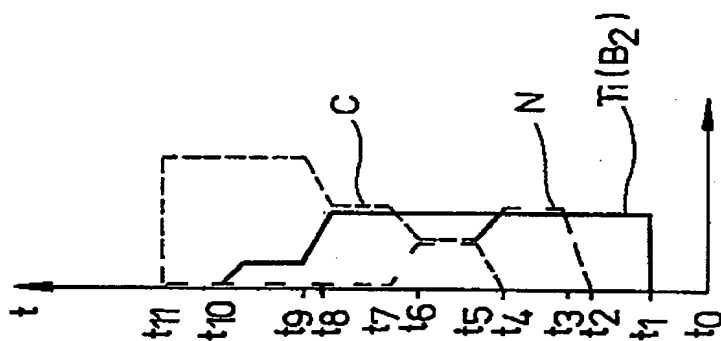


Fig. 2

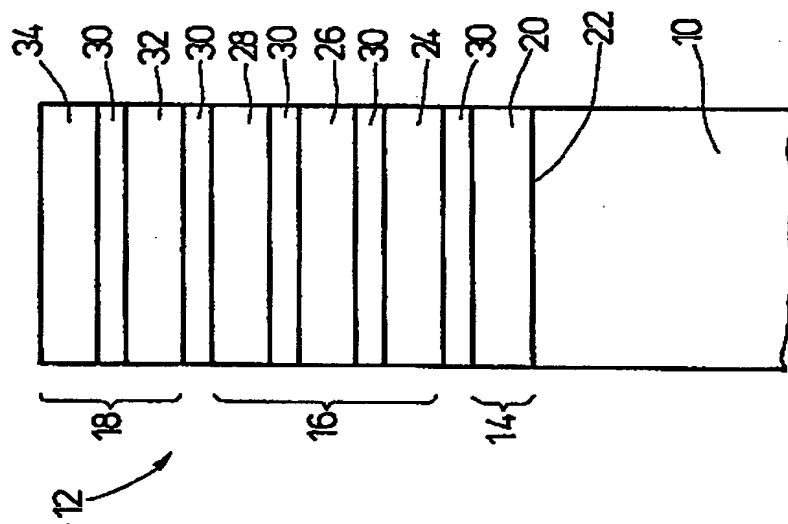


Fig. 1